

# ГЕОТЕХНІЧНА І ГІРНИЧА МЕХАНІКА, МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.926:534.16

М.А. Алексеев, д-р техн. наук, проф.,  
Фарис Самир Расми Альхори

Государственное высшее учебное заведение „Националь-  
ный горный университет“, г.Днепропетровск, Украина,  
e-mail: AlekseevM@nmu.org.ua

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ РУДОЙ

М.А. Alekseyev, Dr. Sci. (Tech.), Professor,  
Faris Sameer Rasmi Alkhori

State Higher Educational Institution “National Mining University”,  
Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: AlekseevM@nmu.org.ua

## AUTOMATED CONTROL OF ORE FILLING DEGREE OF TUMBLING MILLS

**Цель.** Научное обоснование и разработка метода автоматического контроля и оптимизации заполнения рудой шаровых и бесшаровых барабанных мельниц при магнитном обогащении руд с переменными физико-механическими свойствами по сигналам активной мощности электродвигателей барабанных мельниц и магнитных сепараторов.

**Методика.** Составление математических моделей технологических комплексов магнитного обогащения железных руд с использованием апробированных математических моделей шаровых и бесшаровых барабанных мельниц, классифицирующих аппаратов и магнитных сепараторов, моделей формирования сигналов активной мощности приводных электродвигателей мельниц и классификаторов. Методика включает компьютерное моделирование статических характеристик барабанных мельниц и магнитных сепараторов, экспериментальное определение статических характеристик барабанных мельниц в промышленных условиях.

**Результаты.** Установлены новые закономерности формирования статических характеристик шаровых и бесшаровых барабанных мельниц, последовательно работающих с магнитными сепараторами, что позволило разработать способ и систему автоматизированного контроля оптимальной степени заполнения барабанных мельниц рудой. Разработана функциональная схема автоматизированного контроля степени заполнения барабанных мельниц рудой на основе анализа сигналов активной мощности электродвигателей мельниц и магнитных сепараторов.

**Научная новизна.** Установлено, что степень загрузки барабанной мельницы рудой, в отличие от контроля загрузки по спектральной составляющей сигнала активной мощности приводного электродвигателя мельницы, определяется по знаку первой производной сигнала активной мощности электродвигателя магнитного сепаратора по сигналу активной мощности электродвигателя мельницы. Причем, для мельниц мокрого самоизмельчения, если этот знак положительный, то имеет место недогрузка мельницы рудой, а если этот знак отрицательный, то имеет место перегрузка мельницы рудой. Для шаровых мельниц положительный знак производной характеризует перегрузку мельницы рудой, а отрицательный знак производной характеризует недогрузку мельницы рудой. Предложено знак производной определять по знаку коэффициента корреляции между степенями активной мощности электродвигателей мельницы и магнитного сепаратора.

**Практическая значимость.** Разработаны принципы построения автоматизированного контроля оптимальной степени загрузки барабанных мельниц рудой с переменными физико-механическими свойствами, что обеспечивает повышение производительности мельницы и качества железорудного концентрата, снизит переизмельчение руды, потери железа в хвостах.

**Ключевые слова:** *автоматизированный контроль, заполнение мельниц, магнитное обогащение, схемы автоматизации*

**Постановка проблемы и ее связь с важными научно-практическими задачами.** Шаровые барабанные мельницы и мельницы мокрого самоизмель-

чения нашли широкое применение на обогатительных фабриках железных руд горно-обогатительных комбинатов. Степень заполнения мельниц рудой в значительной мере определяет производительность обогатительных фабрик и качество железорудного

© Алексеев М.А., Фарис Самир Расми Альхори, 2014

концентрата. При измельчении руд с переменными физико-механическими свойствами оптимальная степень заполнения мельниц рудой, при которой обеспечивается наилучшее раскрытие руды, является величиной переменной. Например, при измельчении мелковкрапленных труднообогатимых руд степень заполнения мельниц должна быть меньше, чем при измельчении крупновкрапленных руд.

До настоящего времени отсутствуют методы и системы автоматического контроля оптимальной степени заполнения барабанных мельниц рудой, обеспечивающие измельчение и раскрытие руд с переменными физико-механическими свойствами. Решение этой задачи позволит существенно повысить технико-экономические показатели обогащения железных руд и качество железорудного концентрата на горно-обогатительных комбинатах Украины.

#### Анализ последних исследований и публикаций.

Известны методы автоматического контроля загрузки шаровых барабанных мельниц рудой путем вейвлет-анализа звукометрического сигнала мельницы [1] или сигнала активной мощности электродвигателя мельницы [2]. Эти методы позволяют надежно определить момент перегрузки мельницы рудой, но не позволяют определить оптимальную степень заполнения мельницы рудой, которая обеспечит наилучшие показатели обогащения руд. В работе [3] предложены методы автоматической оптимизации загрузки барабанных мельниц по спектральной составляющей сигнала активной мощности приводного электродвигателя мельницы. Этот метод обеспечивает поддержание максимальной производительности мельницы по так называемому „готовому классу“ крупности – 0,074 мм, что не всегда соответствует общей задаче оптимизации процесса обогащения руд с переменными физико-механическими свойствами. При этом не исключается переизмельчение руды и дополнительный непроизводительный расход электроэнергии. Известен радиоизотопный метод автоматического контроля и регулирования заполнения мельниц самоизмельчения рудой. При этом заполнение мельницы рудой может поддерживаться от 37 до 50%. Однако остается неизвестным, какую степень заполнения необходимо поддерживать для измельчения и обогащения разных типов руд.

#### Нерешенные ранее вопросы по теме публикации.

Анализ последних результатов исследований и публикаций по автоматической оптимизации степени заполнения барабанных мельниц рудой позволяет выделить нерешенную проблему, которая заключается в следующем. Существующие методы автоматического контроля и оптимизации позволяют поддерживать заданную степень заполнения мельницы рудой. Но они не позволяют автоматически определять какую именно оптимальную степень заполнения мельницы рудой необходимо поддерживать, чтобы обеспечить наилучшие показатели измельчения и обогащения железных руд с переменными свойствами.

**Постановка задания.** Целью настоящей работы является научное обоснование и разработка метода

автоматического контроля и оптимизации заполнения рудой шаровых и бесшаровых барабанных мельниц при магнитном обогащении железных руд с переменными физико-механическими свойствами.

**Основная часть.** Рассмотрим основные технологические схемы обогащения железных руд, в которых работают шаровые и бесшаровые барабанные мельницы. На рис. 1 представлена типовая схема технологического комплекса магнитного обогащения первой стадии с шаровой мельницей. Здесь руда по главному конвейеру 1 автостеллой 2 подается в бункер 3, откуда с помощью рудопитателя 4 конвейером 5 поступает в барабанную мельницу 6, которая вращается электродвигателем 7 и работает в замкнутом цикле со спиральным классификатором 8. Слив классификатора через пульподелитель 9 поступает на группу параллельно работающих магнитных сепараторов 10, 11, 12, 13, барабаны которых вращаются электродвигателями 14, 15, 16, 17.

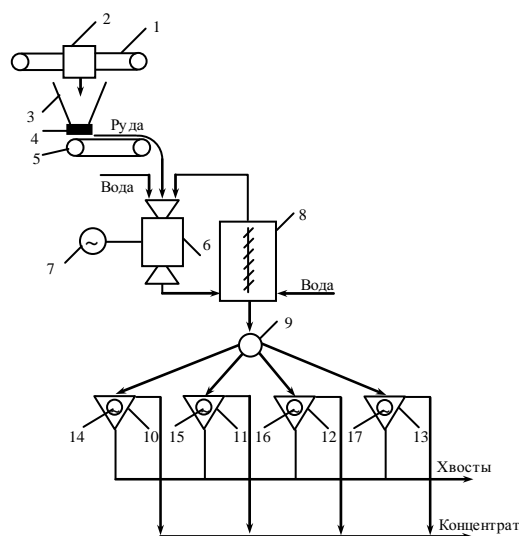


Рис. 1. Схема технологического комплекса магнитного обогащения первой стадии: 1, 5 – конвейер; 2 – автостелла; 3 – бункер; 4 – рудопитатель; 6 – барабанная мельница; 7, 14, 15, 16, 17 – электродвигатель; 8 – спиральный классификатор; 9 – пульподелитель; 10, 11, 12, 13 – магнитный сепаратор

Анализ схемы рис. 1 показывает, что загрузка барабанной мельницы 6 рудой определяет режим и результаты обогащения магнитными сепараторами 10, 11, 12, 13, потери железа в хвостах и качество концентрата. Поэтому степень заполнения мельницы рудой необходимо определять по эффективности процесса магнитной сепарации.

В работе [2] теоретически обоснован способ автоматической оптимизации технологических комплексов магнитного обогащения руд по максимуму активной мощности, потребляемой приводными электродвигателями группы магнитных сепараторов, причем этот максимум соответствует максимальной производительности комплекса по магнитному железу.

При этом минимизируется расход электроэнергии на тонну извлеченного в концентрат магнитного железа.

Представляет практический интерес оптимизация технологического комплекса магнитного обогащения руд по двум сигналам активной мощности, потребляемой приводными электродвигателями мельницы и группы магнитных сепараторов. Причем активная мощность приводного электродвигателя мельницы характеризует степень заполнения мельницы рудой, а активная мощность приводных электродвигателей группы магнитных сепараторов характеризует производительность комплекса по извлеченному магнитному железу. Для разработки алгоритмов оптимизации технологических комплексов магнитного обогащения руд с шаровыми мельницами и мельницами мокрого самоизмельчения необходимо знать статические характеристики этих комплексов.

Была составлена математическая модель технологического комплекса магнитного обогащения первой стадии, схема которой представлена на рис. 2. Основные формулы и соотношения взяты из справочника по обогащению руд [4].

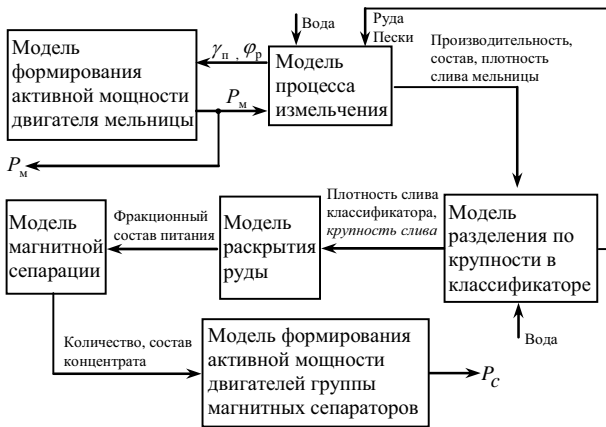


Рис. 2. Схема математической модели технологического комплекса магнитного обогащения:

$\phi_p$  – степень загрузки мельницы рудой;  $P_c$  – активная мощность электродвигателя сепаратора;  $P_m$  – активная мощность электродвигателя мельницы;  $\gamma_n$  – плотность пульпы в мельнице

В результате моделирования была получена статическая характеристика технологического комплекса, представленная на рис. 3.

Анализ данной характеристики показывает, что до точки М, соответствующей максимуму производительности комплекса по магнитному продукту, активные мощности, потребляемые мельницей  $P_m$  и сепаратором  $P_c$ , однонаправлены, т.е. с увеличением степени загрузки мельницы рудой они увеличиваются. Дальнейшее увеличение степени загрузки мельницы рудой приводит к уменьшению потребляемой сепара-

торами активной мощности  $P_c$ , и, соответственно, производительности комплекса по магнитному продукту, в то время как мощность, потребляемая приводным двигателем мельницы, увеличивается.

Аналогично были получены статические характеристики технологического комплекса магнитного обогащения с шаровой мельницей МШР 3,6×4,0, представленные на рис. 4.

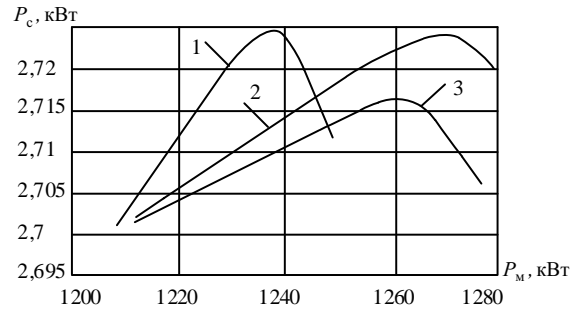


Рис. 3. Статическая характеристика технологического комплекса магнитного обогащения с мельницей мокрого самоизмельчения: 1 – крупновкрапленная руда; 2 – средневкрапленная руда; 3 – мелковкрапленная руда

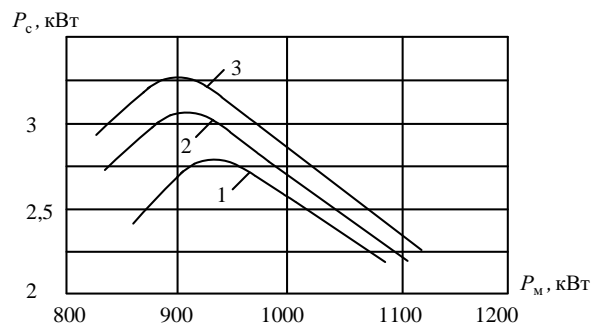


Рис. 4. Статическая характеристика технологического комплекса магнитного обогащения с шаровой мельницей: 1 – шаровая загрузка 40 т.; 2 – шаровая загрузка 45 т.; 3 – шаровая загрузка 45 т.

Были получены статические характеристики комплексов обогащения при изменении крупности, вкрапленности руды и массовой доли железа в руде. Установлен факт дрейфа статических характеристик от этих параметров без изменения формы характеристик.

Экспериментальное определение статических характеристик технологического комплекса первой стадии магнитного обогащения руд с мельницей мокрого самоизмельчения проводилось в условиях 19 технологической секции обогатительной фабрики № 3 Лебединского ГОКа. Во время эксперимента плотность слива классификатора стабилизировалась системой автоматического регулирования плотности на уровне 1400 г/л. Степень загрузки мельницы рудой  $\phi$  измерялась и стабилизировалась на заданном

уровне с помощью радиоизотопного индикатора заполнения и системы регулирования загрузки мельницы. В ходе каждого опыта отбирались технологические пробы промпродукта и хвостов, выполнялся их химический анализ на содержание железа и определялась объемная производительность сепаратора по промпродукту с помощью мерной емкости и секундомера, а также производительность комплекса по магнитному железу  $Q_M$ . Одновременно регистрировались показания приборов, измеряющих активную мощность приводного двигателя мельницы  $P_M$  и активную мощность  $P_C$  приводных двигателей группы магнитных сепараторов первой стадии. Было получено уравнение регрессии

$$P_C = 16,7 + 3,27Q_M,$$

которое подтверждает возможность измерения производительности технологического комплекса по магнитному железу  $Q_M$  по величине активной мощности, потребляемой группой магнитных сепараторов. По результатам эксперимента рассчитывались расходы электроэнергии  $q$  на тонну полученного магнитного продукта. Экспериментальные статические характеристики представлены на рис. 5. Коэффициент корреляции  $R_{Q_M P_C}$  между переменными  $Q_M$  и  $P_C$  составил 0,89.

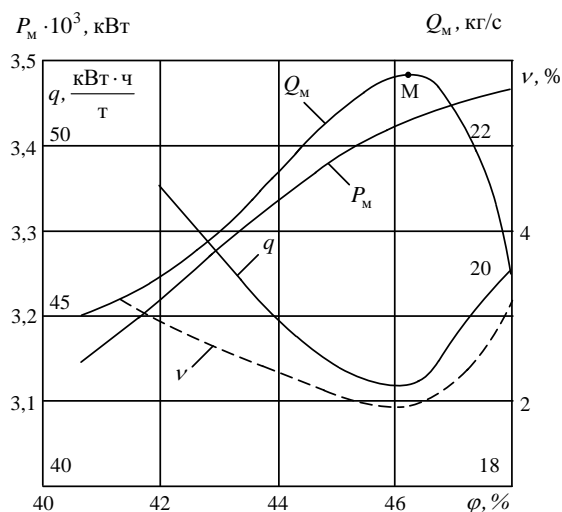


Рис. 5. Статические характеристики технологического комплекса магнитного обогащения руд с мельницей мокрого самоизмельчения:  $Q_M$  – производительность комплекса по магнитному продукту;  $P_M$  – активная мощность, потребляемая двигателем мельницы самоизмельчения;  $q$  – удельный расход электроэнергии на тонну магнитного продукта;  $v$  – массовая доля железа в хвостах;  $M$  – точка оптимального режима работы комплекса;  $\phi$  – степень загрузки мельницы рудой

Так как активная мощность, потребляемая магнитными сепараторами,  $P_C$  пропорциональна производительности комплекса по магнитному железу  $Q_M$ , то максимумы статических характеристик  $Q_M = f(\phi)$  и  $P_C = f(\phi)$  должны совпадать. Следовательно, до точки  $M$  (рис. 5), соответствующей максимуму производительности комплекса по магнитному продукту, увеличение степени загрузки мельницы рудой  $\phi$  приводит к увеличению активной мощности  $P_C$ , потребляемой магнитными сепараторами, и активной мощности  $P_M$ , потребляемой мельницей. Дальнейшее увеличение степени загрузки мельницы рудой приводит к уменьшению производительности комплекса по магнитному продукту  $Q_M$  и, соответственно, потребляемой сепараторами активной мощности  $P_C$ , в то время как мощность  $P_M$ , потребляемая приводным двигателем мельницы, увеличивается. Воспользуемся свойством коэффициента корреляции линеаризованной статической характеристики комплекса в окрестностях рабочей точки для обоснования алгоритма оптимизации технологического комплекса магнитного обогащения руд с мельницей мокрого самоизмельчения. В качестве управляющего воздействия используем производительность по исходной руде на входе мельницы. Алгоритм оптимизации заполнения мельницы рудой в этом случае будет иметь вид

$$Q = \begin{cases} \text{недогрузка} : + \Delta Q; R_{P_M P_C} > \varepsilon \\ \text{оптим. загрузка} : \Delta Q = 0; -\varepsilon \leq R_{P_M P_C} \leq \varepsilon \\ \text{перегрузка} : - \Delta Q; R_{P_M P_C} < -\varepsilon \end{cases}$$

где  $R_{P_M P_C}$  – коэффициент корреляции между активной мощностью двигателя мельницы  $P_M$  и активной мощностью двигателей магнитных сепараторов  $P_C$ ;  $\varepsilon$  – величина, определяющая зону нечувствительности корреляционного экстремум-детектора.

На рис. 6 представлены статические характеристики технологического комплекса первой стадии магнитного обогащения руд с шаровой мельницей МШР 4х5, полученные в условиях 22 технологической секции рудообогатительной фабрики Северного ГОКа по приведенной выше методике. Отличие заключается в определении циркулирующей нагрузки методом водного баланса.

Анализ статических характеристик рис. 6 показывает, что в технологических комплексах с шаровыми мельницами, работающих при максимальной производительности по извлеченному магнитному железу, однонаправленное изменение активной мощности, потребляемой двигателями мельницы и сепараторов, будет наблюдаться после достижения максимума производительности, а до этого момента сигналы ак-

тивной мощности разнонаправлены. Поэтому алгоритм оптимизации заполнения рудой шаровых мельниц в области оптимальной производительности по извлеченному магнитному железу будет иметь вид

$$Q = \begin{cases} \text{недогрузка: } +\Delta Q; R_{P_M P_c} < -\varepsilon \\ \text{оптим. загрузка: } \Delta Q = 0; -\varepsilon \leq R_{P_M P_c} \leq \varepsilon \\ \text{перегрузка: } -\Delta Q; R_{P_M P_c} > \varepsilon \end{cases}$$

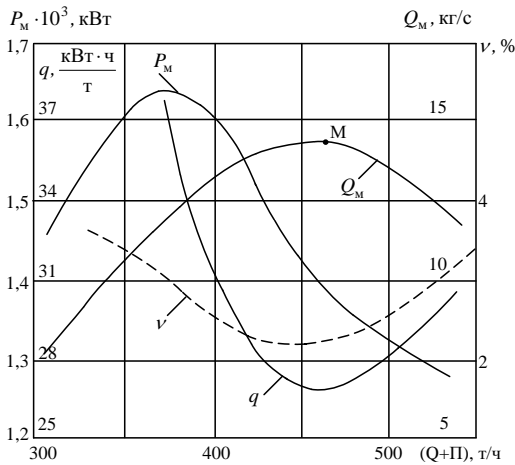


Рис. 6. Статические характеристики технологического комплекса магнитного обогащения руд с шаровой мельницей: Q – производительность по исходной руде; Π – производительность по пескам; P<sub>М</sub> – активная мощность, потребляемая приводным двигателем шаровой мельницы; Q<sub>М</sub> – производительность комплекса по магнитному продукту; q – удельный расход электроэнергии на тонну магнитного продукта; v – массовая доля железа в хвостах; M – точка оптимального режима работы комплекса

Следует отметить, что предлагаемый алгоритм является работоспособным только после выхода технологического комплекса с шаровой мельницей в область технологических режимов, близких к оптимальным по производительности по извлеченному магнитному железу. Алгоритм предназначен для поддержания оптимальной производительности комплекса по магнитному железу путем регулирования заполнения мельницы рудой.

Выход в область оптимума возможен с помощью систем автоматического регулирования или в режиме ручного управления при отключенной системе оптимизации.

В качестве экстремум-детектора системы автоматического контроля степени заполнения барабанных мельниц рудой может быть использовано устройство определения знака первой производной сигнала активной мощности приводного электродвигателя магнитного сепаратора по сигналу активной мощности

электродвигателя мельницы. В соответствии со статической характеристикой мельницы мокрого самоизмельчения, алгоритм автоматического контроля степени заполнения мельницы самоизмельчения рудой будет иметь вид

$$\left. \begin{aligned} \text{недогрузка: } \varphi_p < \varphi_0, \text{ если } \frac{dP_c}{dP_M} > \varepsilon \\ \text{оптим. загрузка: } \varphi_p = \varphi_0, \text{ если } -\varepsilon \leq \frac{dP_c}{dP_M} \leq \varepsilon \\ \text{перегрузка: } \varphi_p > \varphi_0, \text{ если } \frac{dP_c}{dP_M} < -\varepsilon \end{aligned} \right\}$$

где  $\varphi_0$  – оптимальная степень заполнения мельницы рудой;  $\pm\varepsilon$  – зона нечувствительности экстремум-детектора.

Статическая характеристика экстремум-детектора заполнения рудой мельницы самоизмельчения представлена на рис. 7.

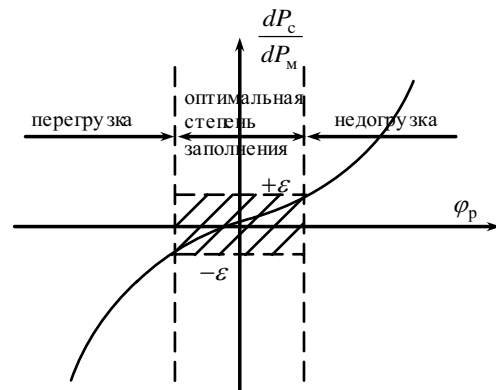


Рис. 7. Статическая характеристика экстремум-детектора заполнения рудой мельницы самоизмельчения:  $\pm\varepsilon$  – зона нечувствительности экстремум-детектора

В соответствии со статической характеристикой шаровой мельницы, алгоритм автоматического контроля степени заполнения шаровой мельницы рудой будет иметь вид

$$\left. \begin{aligned} \text{перегрузка: } \varphi_p > \varphi_0, \text{ если } \frac{dP_c}{dP_M} > \varepsilon \\ \text{оптим. загрузка: } \varphi_p = \varphi_0, \text{ если } -\varepsilon \geq \frac{dP_c}{dP_M} \geq \varepsilon \\ \text{недогрузка: } \varphi_p < \varphi_0, \text{ если } \frac{dP_c}{dP_M} < -\varepsilon \end{aligned} \right\}$$

Статическая характеристика экстремум-детектора заполнения рудой шаровой мельницы представлена на рис. 8.

В качестве примера рассмотрим функциональную схему системы автоматизированного контроля степени заполнения рудой шаровой мельницы второй стадии измельчения, представленную на рис. 9.

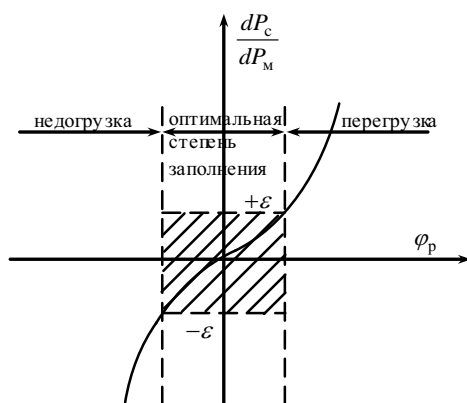


Рис. 8. Статическая характеристика экстремум-детектора заполнения рудой шаровой мельницы:  $\pm \varepsilon$  – зона нечувствительности экстремум-детектора

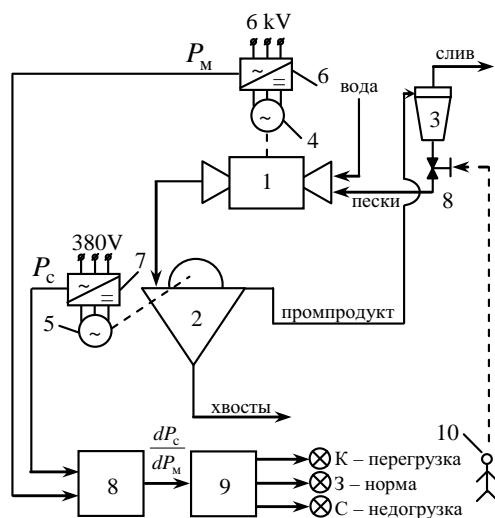


Рис. 9. Функциональная схема системы автоматизированного контроля степени заполнения рудой шаровой мельницы: 1 – мельница; 2 – магнитный сепаратор; 3 – гидроциклон; 4 – электродвигатель мельницы; 5 – электродвигатель магнитного сепаратора; 6, 7 – измерительные преобразователи активной мощности; 8 – дифференцирующее устройство; 9 – логическое устройство; 10 – мельник; К, 3, С – соответственно, красная, зеленая, синяя электрические лампочки

При изменении физико-механических свойств перерабатываемой руды изменяется степень загрузки рудой мельницы 1. Изменяется крупность помола и степень раскрытия руды. Изменяется режим работы магнитного сепаратора 2. Изменяются сигналы активной мощности  $P_M$  электродвигателей мельницы и сепаратора  $P_c$ , которые поступают на вход дифференцирующего устройства 8. Определяется знак производной  $\frac{dP_c}{dP_M}$  и с помощью логического устрой-

ства, которое работает по одному из алгоритмов (1)–(4), определяется степень заполнения рудой. При перегрузке загорается красная лампочка, при недогрузке синяя. Если степень заполнения мельницы рудой оптимальная, то горит зеленая лампочка. При перегрузке мельницы рудой мельник 10 закрывает регулирующий орган 8, диаметр пескового отверстия гидроциклона уменьшается и уменьшается количество песков, поступающих в мельницу. При недогрузке мельницы рудой мельник 10 открывает регулирующий орган 8, диаметр пескового отверстия увеличивается и количество песков увеличивается, загрузка мельницы рудой возвращается к оптимальному значению, загорается зеленая лампочка 3 – „норма“.

**Выводы.** Степень загрузки барабанной мельницы рудой определяется по знаку первой производной сигнала активной мощности электродвигателя магнитного сепаратора по сигналу активной мощности электродвигателя мельницы. Причем, для мельниц мокрого самоизмельчения, если этот знак положительный, то имеет место недогрузка мельницы рудой, а если этот знак отрицательный, то имеет место перегрузка мельницы рудой. Для шаровых мельниц положительный знак производной характеризует перегрузку мельницы рудой, а отрицательный знак производной характеризует недогрузку мельницы рудой.

**Перспективы дальнейших исследований** предусматривают разработку системы автоматической оптимизации степени заполнения рудой шаровых и бесшаровых барабанных мельниц.

#### Список литературы / References

- Алексеев М.А. Метод звукометрической диагностики перегрузки шаровых мельниц рудой / М.А. Алексеев, Х. Шамаллах // Збагачення корисних копалин. – 2005. – № 22 (63). – С. 166–168.  
Alekseyev, M.A. and Shamallakh, Kh. (2005), “The method of audiometric diagnostics of ball mill overloading with ore”, *Zbagachennia Korysnykh Kopalyn*, no. 22 (63), pp. 166–168.
- Марюта А.Н. Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнитообогатительных фабриках / Марюта А.Н. – М.: Недра, 1995. – 230 с.  
Mariuta, A.N. (1995), *Avtomaticheskaya optimizatsiya protsessa obogashcheniya rud na magnitoobogatitelynykh fabrikakh* [Automatic Optimization of Magnetic Ore Mills], Nedra, Moscow, Russia.
- Марюта А.Н. Теория моделирования колебаний рабочих органов механизмов и ее приложения / Марюта А.Н. – Днепропетровск: Издательство ДГУ, 2001. – 174 с.  
Mariuta, A.N. (2001), *Teoria modelirovaniya kolebaniy rabochikh organov mekhanizmov i yeye prilozheniya* [The theory of modeling of variations in operating mechanisms and its applications], Publishing of DGU, Dnepropetrovsk, Ukraine.
- Справочник по обогащению руд: обогатительные фабрики / Под ред. О.С. Богданова. – М.: Недра, 1994. – Т.4. – 346 с.

Bogdanov O.S. (1994), *Spravochnik po obogashcheniyu rud: obogatitelnye fabriki* [Reference book on ore enrichment: enrichment plants], Nedra, Moscow, Russia.

**Мета.** Наукове обґрунтування й розробка методу автоматичного контролю та оптимізації заповнення рудою кульових млинів та млинів самоподрібнення при магнітному збагаченні руд зі змінними фізико-механічними властивостями за сигналами активної потужності електродвигунів барабанних млинів і магнітних сепараторів.

**Методика.** Складання математичних моделей технологічних комплексів магнітного збагачення залізних руд з використанням апробованих математичних моделей кульових млинів та млинів самоподрібнення, класифікуючих апаратів і магнітних сепараторів, моделей формування сигналів активної потужності приводних електродвигунів млинів і класифікаторів. Методика включає комп'ютерне моделювання статичних характеристик барабанних млинів і магнітних сепараторів, експериментальне визначення статичних характеристик барабанних млинів у промислових умовах.

**Результати.** Встановлення нових закономірностей формування статичних характеристик кульових млинів і млинів самоподрібнення, послідовно працюючих з магнітними сепараторами, що дозволило розробити спосіб і систему автоматизованого контролю оптимального ступеня заповнення барабанних млинів рудою. Розроблена функціональна схема автоматизованого контролю ступеня заповнення барабанних млинів рудою на основі аналізу сигналів активної потужності електродвигунів млинів і магнітних сепараторів.

**Наукова новизна.** Встановлено, що ступінь завантаження барабанного млина рудою, на відміну від контролю завантаження за спектральною складовою сигналу активної потужності приводного електродвигуна млина, визначається за знаком першої похідної сигналу активної потужності електродвигуна магнітного сепаратора за сигналом активної потужності електродвигуна млина. Причому, для млинів мокрого самоподрібнення, якщо цей знак позитивний, то має місце недовантаження млина рудою, а якщо цей знак негативний, то має місце перевантаження млина рудою. Для кульових млинів позитивний знак похідної характеризує перевантаження млина рудою, а негативний знак похідної характеризує недовантаження млина рудою. Запропоновано знак похідної визначати за знаком коефіцієнта кореляції між ступенями активної потужності електродвигунів млина та магнітного сепаратора.

**Практична значимість.** Розроблені принципи побудови автоматизованого контролю оптимального ступеня завантаження барабанних млинів рудою зі змінними фізико-механічними властивостями, що забезпечить підвищення продуктивності млина та якості залізородного концентрату, знизить переподрібнення руди, втрати заліза у хвостах.

**Ключові слова:** *автоматизований контроль, заповнення млинів, магнітне збагачення, схеми автоматизації*

**Purpose.** Scientific justification and development of the method for automatic control and ore filling optimization of ball and non-ball tumbling mills by the active power signals of electric motors of ball mill and magnetic separator in the process of magnetic enrichment of ores with varying physical and mechanical properties.

**Methodology.** We have involved mathematical modeling of technological complex of iron ore magnetic separation using proven mathematical models of ball and non-ball tumbling mills, classifying machines and magnetic separators, models of formation of active power signals of drive motors of mills and classifiers.

**Findings.** We have established new regularities of formation of static characteristics of ball and non-ball tumbling mills working in series with magnetic separators. This allowed us to develop the method and system of automated control of the optimum degree of filling of tumbling mills with ore.

**Originality.** It is found that the degree of mill drum filling with ore is being determined by the sign of the first derivative signal of the active power of the electric motor of magnetic separator by the active power signal of the mill motor. For wet autogenous grinding mills if the sign is positive, then there is underutilization of mill with ore, and if the sign is negative, then there is an overload of mill with ore. For ball mills the positive sign of the derivative characterizes the mill overload with ore, and the negative sign of the derivative characterizes the overload of mill with ore. It is proposed to determine the derivative sign by the sign of the correlation coefficient between the degrees of active power of the electric mill and the magnetic separator.

**Practical value.** We have developed the principles of automated control of the optimum degree of tumbling mills filling with ore that has varying physical and mechanical properties, this allows us to improve the productivity and quality of iron ore concentrate, reduces ore overgrinding and iron losses in tailings.

**Keywords:** *automated control, mills filling, magnetic enrichment, automation scheme*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.В. Ткачовим. Дата надходження рукопису 27.06.13.*